

(12) NACH DEM VERTRAG ÜBER DIE INTERNATIONALE ZUSAMMENARBEIT AUF DEM GEBIET DES  
PATENTWESENS (PCT) VERÖFFENTLICHTE INTERNATIONALE ANMELDUNG

(19) Weltorganisation für geistiges Eigentum  
Internationales Büro



(43) Internationales Veröffentlichungsdatum  
24. Juni 2004 (24.06.2004)

PCT

(10) Internationale Veröffentlichungsnummer  
WO 2004/053596 A2

(51) Internationale Patentklassifikation: G03F 7/20

(21) Internationales Aktenzeichen: PCT/EP2003/001564

(22) Internationales Anmeldedatum:  
17. Februar 2003 (17.02.2003)

(25) Einreichungssprache: Deutsch

(26) Veröffentlichungssprache: Deutsch

(30) Angaben zur Priorität:  
102 57 766.8 10. Dezember 2002 (10.12.2002) DE

(71) Anmelder (für alle Bestimmungsstaaten mit Ausnahme von  
US): CARL ZEISS SMT AG [DE/DE]; Carl-Zeiss-Strasse  
22, 73447 Oberkochen (DE).

(72) Erfinder; und

(75) Erfinder/Anmelder (nur für US): GRÄUPNER, Paul  
[DE/DE]; Kiefernweg 7, 73430 Aalen (DE).

(74) Anwälte: OSTERTAG, Ulrich usw.: Eibenweg 10, 70597  
Stuttgart (DE).

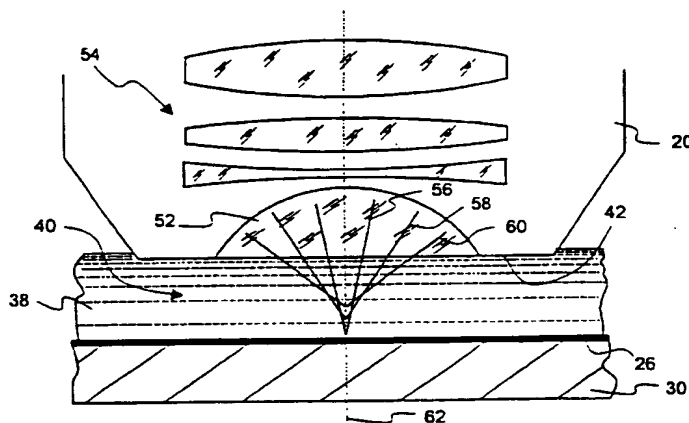
(81) Bestimmungsstaaten (*national*): AE, AG, AL, AM, AT,  
AU, AZ, BA, BB, BG, BR, BY, BZ, CA, CH, CN, CO, CR,  
CU, CZ, DE, DK, DM, DZ, EC, EE, ES, FI, GB, GD, GE,  
GH, GM, HR, HU, ID, IL, IN, IS, JP, KE, KG, KP, KR,  
KZ, LC, LK, LR, LS, LT, LU, LV, MA, MD, MG, MK,  
MN, MW, MX, MZ, NO, NZ, OM, PH, PL, PT, RO, RU,  
SC, SD, SE, SG, SK, SL, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA,  
UG, US, UZ, VC, VN, YU, ZA, ZM, ZW.

(84) Bestimmungsstaaten (*regional*): ARIPO-Patent (GH,  
GM, KE, LS, MW, MZ, SD, SL, SZ, TZ, UG, ZM, ZW),  
eurasisches Patent (AM, AZ, BY, KG, KZ, MD, RU, TJ,  
TM), europäisches Patent (AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE,  
DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HU, IE, IT, LU, MC, NL,  
PT, SE, SI, SK, TR), OAPI-Patent (BF, BJ, CF, CG, CI,  
CM, GA, GN, GQ, GW, ML, MR, NE, SN, TD, TG).

[Fortsetzung auf der nächsten Seite]

(54) Title: METHOD FOR ADJUSTING A DESIRED OPTICAL PROPERTY OF A POSITIONING LENS AND MICROLITHO-  
GRAPHIC PROJECTION EXPOSURE SYSTEM

(54) Bezeichnung: VERFAHREN ZUR EINSTELLUNG EINER GEWÜNSCHTEN OPTISCHEN EIGENSCHAFT EINES PRO-  
JEKTIONSOBJEKTIVS SOWIE MIKROLITHOGRAFISCHE PROJEKTIONSBELICHTUNGSANLAGE



(57) Abstract: The invention relates to a method for improving an optical imaging property of a projection lens (20) which is part of a microlithographic projection exposure system (10) with which a reticle (24) arranged in an object plane (22) of the projection lens (20) can be imaged through the projection lens (20) onto a light-sensitive surface (26) arranged in a focal plane (28). First, an immersion liquid (38) is introduced into an interstice (40) between the light-sensitive surface (26) and an end surface (42) of the projection lens (20) facing said surface (26). Then, the imaging property of the projection lens (20) is determined. The determined imaging property is compared with a desired imaging property. The temperature of the immersion liquid (38) is modified until the determined imaging property approximates the desired imaging property as closely as possible. The imaging properties of the projection lens (20) can be precisely influenced through the temperature-induced modification of the refractive index of the immersion liquid (38), which can for example be used for compensating for a spherical aberration of the projection lens (20).

[Fortsetzung auf der nächsten Seite]

**Veröffentlicht:**

— ohne internationalen Recherchenbericht und erneut zu veröffentlichen nach Erhalt des Berichts

*Zur Erklärung der Zweibuchstaben-Codes und der anderen Abkürzungen wird auf die Erklärungen ("Guidance Notes on Codes and Abbreviations") am Anfang jeder regulären Ausgabe der PCT-Gazette verwiesen.*

---

**(57) Zusammenfassung:** Die Erfindung betrifft ein Verfahren zur Verbesserung einer optischen Abbildungseigenschaft eines Projektionsobjektivs (20), das Teil einer mikrolithografischen Projektionsbelichtungsanlage (10) ist, mit der sich ein in einer Objektebene (22) des Projektionsobjektivs (20) angeordnetes Retikel (24) durch das Projektionsobjektiv (20) hindurch auf eine in einer Bildebene (28) angeordnete lichtempfindliche Oberfläche (26) abbilden lässt. Zunächst wird eine Immersionsflüssigkeit (38) in einen Zwischenraum (40) zwischen der lichtempfindlichen Oberfläche (26) und einer dieser Oberfläche (26) zugewandten Endfläche (42) des Projektionsobjektivs (20) eingebracht. Anschließend wird eine Abbildungseigenschaft des Projektionsobjektivs (20) ermittelt. Daran schließt sich ein Vergleich der ermittelten Abbildungseigenschaft mit einer Soll-Abbildungseigenschaft an. Schließlich wird die Temperatur der Immersionsflüssigkeit (38) so lange verändert, bis die ermittelte Abbildungseigenschaft der Soll-Abbildungseigenschaft möglichst nahe kommt. Die Abbildungseigenschaften des Projektionsobjektivs (20) lassen sich durch die temperaturinduzierte Veränderung des Brechungsindex der Immersionsflüssigkeit (38) präzise beeinflussen, was z. B. zur Kompensation einer sphärischen Aberration des Projektionsobjektivs (20) benutzt werden kann.

05 Verfahren zur Einstellung einer gewünschten optischen  
Eigenschaft eines Projektionsobjektivs sowie  
mikrolithografische Projektionsbelichtungsanlage

=====

10 Die Erfindung betrifft ein Verfahren zur Verbesserung  
einer optischen Abbildungseigenschaft eines Projek-  
tionsobjektivs, das Teil einer mikrolithografischen  
Projektionsbelichtungsanlage ist, mit der sich ein in  
einer Objektebene des Projektionsobjektivs angeordnetes  
15 Retikel durch das Projektionsobjektiv hindurch auf eine  
in einer Bildebene des Projektionsobjektivs angeordnete  
lichtempfindliche Oberfläche abbilden läßt. Die Erfindung  
betrifft ferner eine mikrolithografische Projektionsbe-  
lichtungsanlage zur Abbildung eines in einer Objektebene  
20 eines Projektionsobjektivs angeordneten Retikels durch  
das Projektionsobjektiv hindurch auf eine in einer Bild-  
ebene des Projektionsobjektivs angeordnete lichtempfind-  
liche Oberfläche, mit Mitteln zum Einbringen einer Immer-  
sionsflüssigkeit in einen Zwischenraum zwischen der  
25 lichtempfindlichen Oberfläche und einer dieser Oberfläche  
zugewandten Endfläche des Projektionsobjektivs. Die  
Erfindung betrifft außerdem eine derartige Projektionsbe-  
lichtungsanlage, bei der in den genannten Zwischenraum  
bereits eine Immersionsflüssigkeit eingebracht ist.

30

Ein Verfahren der genannten Art ist allgemein im Stand der  
Technik bekannt. So läßt sich bei zahlreichen Projek-  
tionsobjektiven mikrolithografischer Projektionsbelich-  
tungsanlagen die räumliche Lage einzelner optischer  
35 Komponenten mit Hilfe von Manipulatoren so verändern,

- daß sich die Abbildungseigenschaften des Projektionsobjektivs verbessern. Die Lageveränderung der betreffenden optischen Komponenten zur Verbesserung der Abbildungseigenschaften des Projektionsobjektivs erfolgt dabei
- 05 am fertig montierten Projektionsobjektiv, und zwar in der Regel noch vor dessen erstmaliger Inbetriebnahme. Diese Art der Feinjustierung kann aber auch zu einem späteren Zeitpunkt vorgenommen werden, um beispielsweise alterungsbedingte Verschlechterungen der Abbildungseigenschaften zu
- 10 kompensieren. Häufig geht man bei diesen Verfahren so vor, daß man eine oder mehrere Abbildungseigenschaften des Projektionsobjektivs mit Hilfe eines in dessen Bildebene angeordneten Sensors erfasst. Sodann beobachtet man, wie sich Lageveränderungen einzelner optischer Komponenten
- 15 auf die Abbildungseigenschaften auswirken. Durch mehr oder weniger zielgerichtete Justage der optischen Komponenten können auf diese Weise die optischen Abbildungseigenschaften des Projektionsobjektivs optimiert werden.
- 20 Eine mikrolithografische Projektionsbelichtungsanlage der eingangs genannten Art ist aus der EP 0 023 231 B1 bekannt. Diese bekannte Projektionsbelichtungsanlage weist zur Aufnahme eines Trägers für eine zu belichtende Halbleiterscheibe einen oben offenen Behälter auf, dessen
- 25 oberer Rand höher liegt als die untere Begrenzungsfläche des Projektionsobjektivs. Der Behälter ist mit Zu- und Ableitungen für eine Immersionsflüssigkeit versehen, die in einem Flüssigkeitskreislauf umgewälzt wird. Die Immersionsflüssigkeit füllt beim Betrieb der Projektions-
- 30 belichtungsanlage den Zwischenraum aus, der zwischen der zu belichtenden Halbleiterscheibe und einer dieser zugewandten Grenzfläche des Projektionsobjektivs verbleibt. Durch den höheren Brechungsindex der Immersionsflüssigkeit im Vergleich zu Luft wird das Auflösungsver-
- 35 mögen des Projektionsobjektivs vergrößert.

- Die bekannte Projektionsbelichtungsanlage weist ferner eine in dem Flüssigkeitskreislauf angeordnete Einrichtung zur Temperierung der Immersionsflüssigkeit auf. Auf  
05 diese Weise läßt sich die Temperatur der zu belichten-  
den Halbleiterscheibe konstant halten, so daß durch Wärme-  
bewegungen der Halbleiterscheibe hervorgerufene Abbildungs-  
fehler zu vermieden werden.
- 10 Die Verwendung von Immersionsflüssigkeiten bei mikro-  
lithografischen Projektionsbelichtungsanlagen ist auch  
aus der JP 10-303 114 A bekannt. Dort wird auf das Pro-  
blem hingewiesen, daß unerwünschte Temperaturschwankun-  
gen der Immersionsflüssigkeit auch zu einer Verschlech-  
15 terung der Abbildungseigenschaften des Projektionsobjek-  
tivs führen können. Die Ursache hierfür liegt in der  
Abhängigkeit des Brechungsindex der Immersionsflüssig-  
keit von der Temperatur. Zur Lösung dieses Problems  
werden verschiedene Maßnahmen vorgeschlagen, mit denen  
20 sich die Temperatur der Immersionsflüssigkeit während  
des Betriebs der Projektionsbelichtungsanlage in engen  
Grenzen konstant halten läßt.

Aufgabe der vorliegenden Erfindung ist es, ein Verfahren  
25 sowie eine mikrolithografische Projektionsbelichtungsan-  
lage der eingangs genannten Art anzugeben, bei dem  
sich die optischen Abbildungseigenschaften eines fertig  
montierten Projektionsobjektivs noch leichter und wirkungs-  
voller verbessern lassen.

30

Bei einem Verfahren der eingangs genannten Art wird  
diese Aufgabe durch folgende Schritte gelöst:

- a) Einbringen einer Immersionsflüssigkeit in einen  
35 Zwischenraum zwischen der lichtempfindlichen Ober-

fläche und einer dieser Oberfläche zugewandten Endfläche des Projektionsobjektivs;

- 05      b) Ermitteln einer Abbildungseigenschaft der Projektionsobjektivs;
- c) Vergleichen der ermittelten Abbildungseigenschaft mit einer Soll-Abbildungseigenschaft;
- 10     d) Verändern der Temperatur der Immersionsflüssigkeit so lange, bis die ermittelte Abbildungseigenschaft der Soll-Abbildungseigenschaft möglichst nahe kommt.

15      Zur Verbesserung der optischen Abbildungseigenschaften des Projektionsobjektivs wird die Erkenntnis genutzt, daß die Immersionsflüssigkeit eine optische Komponente der Projektionsbelichtungsanlage darstellt, die deren optische Eigenschaften im Prinzip genau so beeinflusst wie etwa die im Projektionsobjektiv angeordneten Linsen. Anstatt  
20      nun (ausschließlich) die Linsen oder andere optische Komponenten im Projektionsobjektiv mechanisch im Strahlengang des Projektionsobjektivs zu justieren, nutzt die Erfindung die Möglichkeit, den Brechungsindex der optischen Komponente "Immersionsflüssigkeit" über deren Temperatur  
25      zu beeinflussen.

         Zwar läßt sich im Prinzip auch der Brechungsindex der im Projektionsobjektiv enthaltenden optischen Komponenten über die Temperatur verändern, doch ist dort eine Temperaturveränderung ungleich schwerer herbeizuführen, da die  
30      für die Linsen u. ä. verwendeten Materialien eine geringe Wärmeleitfähigkeit besitzen, wodurch die Einstellung einer homogenen Temperaturverteilung über das gesamte optisch wirksame Volumen hinweg erheblich erschwert  
35      wird. Die Temperatur der Immersionsflüssigkeit läßt

sich hingegen relativ einfach auf einen vorgebbaren Wert bringen und über den entsprechenden optisch wirksamen Bereich hinweg konstant halten, z. B. indem die Flüssigkeit umgewälzt wird.

05

Da der Brechungsindex zahlreicher als Immersionsflüssigkeit geeigneter Flüssigkeiten nur recht schwach und - innerhalb kleiner Temperaturintervalle - annähernd linear von der Temperatur abhängt, läßt sich der Brechungsindex der Immersionsflüssigkeit sehr präzise über die  
10 Temperatur einstellen. So läßt sich beispielsweise bei einer für eine Wellenlänge von 193 nm ausgelegten Projektionsbelichtungsanlage, bei der der Zwischenraum zwischen der lichtempfindlichen Oberfläche und der End-  
15 fläche des Projektionsobjektivs mit einer 1 mm dicken Wasserschicht aufgefüllt ist, der Brechungsindex von  $n = 1,45$  um ein hundertstel Promill verändern, indem die Temperatur um 50 mK erhöht oder erniedrigt wird.

20 Theoretisch ist es möglich, zur Ermittlung der Abbildungseigenschaft ein zusätzliches optisches System derart in der Bildebene des Projektionsobjektivs zu positionieren, daß ein von dem Projektionsobjektiv erzeugtes Bild unmittelbar auf einem Schirm oder durch ein  
25 Okular hindurch beobachtet werden kann. Vorzugsweise jedoch wird die Abbildungseigenschaft ermittelt, indem ein Testretikel durch das Projektionsobjektiv und die Immersionsflüssigkeit hindurch auf ein in der Bildebene angeordnetes lichtempfindliches Element abgebildet wird. Die Abbildungseigenschaften lassen sich dann  
30 reproduzierbar und quantifizierbar ermitteln, indem das auf dem lichtempfindlichen Element gespeicherte Bild mit an sich bekannten Vorrichtungen vermessen wird. Als lichtempfindliches Element kommt bei spielsweise eine  
35 Fotoemulsion in Betracht.

Besonders bevorzugt ist es jedoch, wenn das lichtempfindliche Element eine Sensoreinrichtung, insbesondere ein CCD-Sensor, ist. Auf diese Weise kann das in der Bildebene erzeugte Bild unmittelbar, d. h. ohne Entwicklung einer Fotoemulsion o. ä., erfasst und ausgewertet werden, um die Abbildungseigenschaften zu ermitteln.

Alternativ hierzu kann die Abbildungseigenschaft auch unter Verwendung eines Interferometers ermittelt werden, wie es beispielsweise aus der WO 01/632 33 A1 bekannt ist.

Mit Hilfe des erfindungsgemäßen Verfahrens lassen sich alle optischen Abbildungseigenschaften des Projektionsobjektivs verbessern, die durch die Immersionsflüssigkeit beeinflusbar sind. So kann es sich beispielsweise bei der zu verbessernden optischen Abbildungseigenschaft um eine durch das Projektionsobjektiv verursachte sphärische Aberration handeln. Derartige sphärische Aberrationen treten insbesondere bei Projektionsobjektiven mit hoher numerischer Apertur auf.

Bei der zu verbessernden optischen Eigenschaft kann es sich aber beispielsweise auch um die Brennweite des Projektionsobjektivs handeln. Da zur hochauflösenden Abbildung der in dem Retikel enthaltenen abzubildenden Strukturen auf der lichtempfindlichen Oberfläche letztere sehr genau in der Brennebene des Projektionsobjektivs angeordnet sein muß, weisen herkömmliche Projektionsbelichtungsanlagen häufig eine Verstellmöglichkeit auf, mit der der Träger der lichtempfindlichen Oberfläche entlang der optischen Achse des Projektionsobjektivs bewegt werden kann. Auf diese Weise läßt sich die licht-



- empfindliche Oberfläche in die Brennebene des Projektionsobjektivs justieren. Diese mechanischen Verstelleinrichtungen sind allerdings konstruktiv relativ aufwendig. Durch Verändern der Temperatur der Immersionsflüssigkeit läßt
- 05 sich erfindungsgemäß auf sehr einfache Weise die Brennweite des Projektionsobjektivs beeinflussen, so daß auf eine Verstellmöglichkeit für den Träger der lichtempfindlichen Oberfläche verzichtet werden kann.
- 10 Bei einer Projektionsbelichtungsanlage der eingangs genannten Art wird die oben genannte Aufgabe gelöst durch eine in der Bildebene anordenbare Sensoreinrichtung, insbesondere einen CCD-Sensor, eine Temperaturregelungseinrichtung zur Einstellung einer Soll-Temperatur der Im-
- 15 mersionsflüssigkeit, und einer mit der Sensoreinrichtung und der Temperaturregelungseinrichtung verbundenen Recheneinheit, mit der aus von der Sensoreinrichtung erzeugten Signalen die Soll-Temperatur der Immersionsflüssigkeit bestimmbar ist.
- 20 Eine derartige Projektionsbelichtungsanlage erlaubt eine automatisierte Verbesserung der optischen Abbildungseigenschaften des Projektionsobjektivs durch Verändern der Temperatur der Immersionsflüssigkeit. Die
- 25 Recheneinheit kann dabei z. B. so ausgelegt werden, daß sie aus den von der Sensoreinrichtung erzeugten Signalen die Abbildungseigenschaften des Projektionsobjektivs ermittelt und mit einer Soll-Abbildungseigenschaft vergleicht. In einem Regelvorgang veranlasst dann die Rechen-
- 30 einheit die Temperatursteuerungseinrichtung, die Temperatur der Immersionsflüssigkeit so lange zu verändern, bis die von der Sensoreinrichtung erfasste Abbildungseigenschaft der Soll-Abbildungseigenschaft möglichst nahe-
- 35 möglichst es einem Betreiber, bestimmte Verschlechterungen

der Abbildungseigenschaften des Projektionsobjektivs automatisch, d. h. ohne Hinzuziehung von Spezialisten, durch eine Veränderung des Brechungsindex der Immersionsflüssigkeit zu kompensieren. Als Ursache für die Verschlechterungen kommen z. B. alterungsbedingte Materialveränderungen oder Schwankungen des Luftdrucks in Betracht.

Gegenstand der Erfindung ist ferner eine Projektionsbelichtungsanlage mit einer Immersionsflüssigkeit, deren Temperatur so gewählt ist, daß durch die Immersionsflüssigkeit eine dem Projektionsobjektiv eigene sphärische Aberration kompensiert ist.

Weitere Vorteile und Merkmale der Erfindung ergeben sich aus der nachfolgenden Beschreibung eines Ausführungsbeispiels anhand der Zeichnungen. Darin zeigen:

Figur 1 eine vereinfachte Darstellung einer mikrolithografischen Projektionsbelichtungsanlage in einem Längsschnitt;

Figur 2 einen vergrößerten Ausschnitt aus Figur 1, in dem ein Strahlengang im Bereich einer Immersionsflüssigkeit angedeutet ist;

Figur 3 den Ausschnitt gemäß Figur 2, jedoch nach Erhöhung der Temperatur der Immersionsflüssigkeit;

Figur 4 einen der Figur 2 entsprechenden vergrößerten Ausschnitt aus einer Projektionsbelichtungsanlage mit einer anderen Abbildungsoptik;

Figur 5 den Ausschnitt gemäß Figur 4, jedoch nach Erhöhung der Temperatur der Immersionsflüssigkeit;

Figur 6 eine vereinfachte Darstellung einer anderen mikrolithografischen Projektionsbelichtungsanlage mit einer in der Bildebene angeordneten Sensoreinrichtung in einem Längsschnitt.

05

Figur 1 zeigt eine insgesamt mit 10 bezeichnete mikrolithografische Projektionsbelichtungsanlage in einem Längsschnitt. Die Projektionsbelichtungsanlage 10 weist eine Beleuchtungseinrichtung 12 zur Erzeugung eines Projektionslichtbündels 13 auf, die eine Projektionslichtquelle 14, eine mit 16 angedeutete Beleuchtungsoptik und eine Blende 18 umfasst.

Die Projektionsbelichtungsanlage 10 hat ferner ein Projektionsobjektiv 20, das ein in seiner Objektebene 22 angeordnetes Retikel 24 verkleinert auf eine lichtempfindliche Oberfläche 26 abbildet, die in einer Bildebene 28 des Projektionsobjektivs 20 angeordnet ist. Das Projektionsobjektiv 20 enthält eine Vielzahl optischer Komponenten, von denen in Figur 1 nur einige beispielhaft dargestellt und nicht näher bezeichnet sind.

Bei der lichtempfindlichen Oberfläche 26 kann es sich beispielsweise um einen Fotolack handeln, der auf einem Träger 30, z. B. einem Siliziumwafer, aufgebracht ist. Der Träger 30 ist am Boden eines wannenartigen, nach oben offenen Behälters 32 befestigt, der durch eine mit 36 bezeichnete erste Verfahrereinrichtung parallel zur Bildebene verfahrbar ist. Der Behälter 32 ist mit einer Immersionsflüssigkeit 38 soweit aufgefüllt, daß ein Zwischenraum 40 zwischen der lichtempfindlichen Oberfläche 26 und einer dieser Oberfläche 26 zugewandten Endfläche 42 des Projektionsobjektivs 20 vollständig mit der Immersionsflüssigkeit 38 gefüllt ist.

35

In dem Behälter 32 ist außerdem eine Temperiereinrichtung 44 vorgesehen, die als reine Heizeinrichtung, aber auch als kombinierte Heiz-/Kühleinrichtung ausgeführt sein kann. Außerdem ist an dem Behälter 32 ein Temperaturfüh-  
05 ler 46 befestigt, der die Temperatur der Immersionsflüssigkeit 38 mit hoher Genauigkeit erfasst.

Die Temperiereinrichtung 44 und der Temperaturfühler 46 sind über die Verfahrenbewegung des Behälters 32 nicht  
10 hindernde Leitungen mit einem Temperaturregler 48 verbunden, der einen Schiebeschalter 50 zur Einstellung einer Führungstemperatur aufweist.

Das Retikel 24, dessen Strukturen auf der lichtempfindlichen Oberfläche 26 abgebildet werden sollen, ist mit  
15 Hilfe einer zweiten Verfahreneinrichtung 52 in der Objektebene 22 verfahrbar, so daß nach und nach sämtliche strukturierten Bereiche des Retikels 24 auf der lichtempfindlichen Oberfläche 26 abgebildet werden können.

20

Die Projektionsbelichtungsanlage 10 funktioniert auf folgende Weise:

Das von der Beleuchtungseinrichtung 12 erzeugte Pro-  
25 jektionslichtbündel 13 durchtritt die Strukturen des Retikels 24 und gelangt von dort in das Projektionsobjektiv 20. Durch dieses werden die Strukturen, die von dem Projektionslichtbündel 13 durchtreten werden, verkleinert auf der lichtempfindlichen Oberfläche 26  
30 abgebildet. Um die gesamte Fläche des Retikels 24 auf der lichtempfindlichen Oberfläche 26 abzubilden, kann das Retikel 24 in einem "step and scan"-Vorgang beleuchtet werden. Dabei wird der Gesamtbereich des Retikels 24 scannend beleuchtet, indem das Retikel 24 mit Hilfe der  
35 zweiten Verfahreneinrichtung 52 durch das von der Blende

18 begrenzte Projektionslichtbündel hindurch bewegt wird.  
Der Behälter 32 mit dem darin befestigten Träger 30 führt  
während dieser Scanbewegung eine (meist gegenläufige)  
Bewegung mit Hilfe der ersten Verfahreinrichtung 36 aus,  
05 dessen Verfahrgeschwindigkeit gegenüber derjenigen des  
Retikels 24 um das Verkleinerungsverhältnis des Projek-  
tionsobjektivs 20 herabgesetzt ist.

Bei dieser Verfahrbewegung des Behälters 32 wird die  
10 Endfläche 42 des Projektionsobjektivs 20 durch die vom  
Behälter 32 mitgeführte Immersionsflüssigkeit 38 bewegt,  
was zu einer Durchmischung der Immersionsflüssigkeit 38  
führt. Eine solche Durchmischung ist insofern erwünscht,  
als sich die Immersionsflüssigkeit 38 aufgrund des durch-  
15 tretenden Projektionslichts lokal erwärmen kann, so daß  
der Temperaturfühler 46 ansonsten möglicherweise nicht  
mehr die tatsächlich in dem Zwischenraum 40 gegebene  
Temperatur erfassen würde. Falls die Durchmischung aufgrund  
der Verfahrbewegung des Behälters 32 nicht ausreichen  
20 sollte, können selbstverständlich zusätzliche Mischein-  
richtungen im Behälter 32 angeordnet sein. Ebenso ist es  
möglich, den Behälter 32 in einen Flüssigkeitskreislauf  
einzufügen, wie dies im Stand der Technik an sich bekannt  
ist. Die Temperiereinrichtung 44 sowie der Temperaturfühler  
25 46 können dann neben einem ggfs. vorhandener Filter in  
diesen Temperaturkreislauf integriert sein.

Falls in einem Testvorgang bei der Justage des Projektions-  
objektivs oder im späteren Betrieb durch Prüfung der herge-  
30 stellten Wafer festgestellt wird, daß die Abbildungseigen-  
schaft des Projektionsobjektivs 20 nicht einer gewünschten  
Soll-Abbildungseigenschaft entspricht, z. B. weil die  
Abbildung auf der lichtempfindlichen Oberfläche 26 durch  
sphärische Aberration verfälscht ist, so wird durch  
35 Betätigung des Schiebeschalters 50 die Führungstempe-

- ratur des Temperaturreglers 48 verändert und die Belichtung wiederholt. Durch Verändern der Temperatur der Immersionsflüssigkeit 38 verändert sich deren Brechungsindex. Die Abhängigkeit des Brechungsindex von der Temperatur ist - zumindest in kleinen Temperaturintervallen - bei vielen Immersionsflüssigkeiten 38 annähernd linear, so daß sich auf recht einfache Weise in einem rekursiven Prozess eine Temperatur für die Immersionsflüssigkeit 38 ermitteln läßt, bei der eine oder mehrere Abbildungseigenschaften des Projektionsobjektivs 20 verbessert sind. Die weitere Belichtung lichtempfindlicher Oberflächen 26 erfolgt dann bei dieser zuletzt eingestellten Temperatur der Immersionsflüssigkeit 38.
- 15 Der Einfluss des Brechungsindex der Immersionsflüssigkeit 38 auf die Abbildungseigenschaften des Projektionsobjektivs 20 wird im folgenden anhand der Figuren 2 bis 5 näher erläutert.
- 20 Figur 2 zeigt einen vergrößerten Ausschnitt aus Figur 1, in dem im Bereich des Zwischenraums 40 zwischen der Endfläche 42 des Projektionsobjektivs 20 und der lichtempfindlichen Oberfläche 26 ein Strahlengang angedeutet ist. Bei diesem Ausführungsbeispiel ist in die Endfläche
- 25 42 des Projektionsobjektivs 20 eine plan-konvexe Abschlußlinse 52 bündig abschließend eingelassen, die die letzte optische Komponente der mit 54 lediglich angedeuteten Projektionsoptik des Projektionsobjektivs 20 darstellt. In Figur 2 sind zu Illustrationszwecken mehrere
- 30 Projektionslichtstrahlen 56, 58, 60 eingezeichnet, die von den vorgelagerten optischen Komponenten der Projektionsoptik 54 auf die Abschlußlinse 52 geworfen werden. Die Darstellung ist stark schematisiert und nicht maßstäblich, um den Einfluß der Temperatur auf die Abbildungseigenschaften des Projektionsobjektivs 20 besser erläutern
- 35

zu können.

Das in Figur 2 gezeigte Projektionsobjektiv 20 erzeugt eine durch sphärische Aberration verfälschte Abbildung. Dies bedeutet, daß sich die Brennweiten der achsennahen Projektionslichtstrahlen 56 und der achsenferneren Projektionslichtbündel 58 und 60 jeweils voneinander unterscheiden. In Figur 2 liegt nur die Brennebene der achsennahen Projektionslichtstrahlen 56 in der Ebene der lichtempfindlichen Oberfläche 26, während die Brennebenen der achsenferneren Projektionslichtstrahlen 58 und 60 in dem Zwischenraum 40 liegen. Der Abstand der Brennebenen von der lichtempfindlichen Oberfläche 26 nimmt dabei zu, je weiter entfernt von der mit 62 bezeichneten optischen Achse die Abschlußlinse 52 von den Projektionslichtstrahlen 56, 58, 60 durchtreten wird.

Figur 3 zeigt den Ausschnitt aus Figur 2, nachdem die Temperatur der Immersionsflüssigkeit 38 erhöht wurde. Die Immersionsflüssigkeit 38 weist nun einen höheren Brechungsindex auf als in dem in Figur 2 gezeigten Zustand. Dies führt dazu, daß an der Grenzfläche zwischen der Abschlußlinse 52 und der Immersionsflüssigkeit 38 die Projektionslichtstrahlen 56, 58, 60 stärker gebrochen werden. Diese stärkere Brechung wirkt sich umso mehr aus, je weiter die Projektionslichtstrahlen von der optischen Achse 62 entfernt sind, da die achsenferneren Projektionslichtstrahlen diese Grenzfläche unter einem größeren Winkel durchtreten. Dies führt dazu, daß sich die Brennweite des Projektionsobjektivs 20 für die achsenferneren Strahlen verlängert, so daß im Idealfall bei entsprechend gewählter Temperatur die Brennebenen aller Projektionslichtstrahlen 56, 58, 60 mit der Ebene zusammenfallen, in der die lichtempfindliche Oberfläche 26 angeordnet ist.

Durch Veränderung der Temperatur der Immersionsflüssigkeit 38 ist es somit möglich, eine dem Projektionsobjektiv 20 immanente sphärische Abberation nachträglich zu kompensieren.

05

Figur 4 zeigt einen der Figur 2 entsprechenden vergrößerten Ausschnitt einer Projektionsbelichtungsanlage mit einem anderen Projektionsobjektiv 120. Dabei sind gegenüber Figur 2 veränderte Teile mit um 100 erhöhte Bezugsziffern bezeichnet. Die Projektionsoptik 154 des Projektionsobjektivs 120 weist, anders als die in den Figuren 2 und 3 gezeigte Projektionsoptik 54, keine immanente sphärische Aberration auf. Die Projektionslichtstrahlen 156, 158, 160 treffen sich daher in einem Brennpunkt. Wie in Figur 4 zu erkennen ist, liegt dieser Brennpunkt jedoch nicht in der Ebene der lichtempfindlichen Oberfläche 26, d. h. das Projektionsobjektiv 120 weist einen Fokusfehler auf. Ein solcher Fokusfehler könnte beispielsweise behoben werden, indem der Träger 30 mit der lichtempfindlichen Oberfläche 26 geringfügig mit Hilfe einer geeigneten Vorrichtung in Richtung der optischen Achse 62 verfahren wird. Die hierfür erforderliche Genauigkeit ist allerdings mit Hilfe mechanischer Vorrichtungen nur mit großem technischen Aufwand realisierbar.

25

Wie Figur 5 zeigt, kann durch eine Erhöhung der Temperatur der Immersionsflüssigkeit 38 ebenfalls eine Vergrößerung der Brennweite des Projektionsobjektivs 120 erzielt werden. Zwar wird dadurch eine sphärische Aberration eingeführt, die in Figur 5 nicht dargestellt ist. Die Auswirkungen einer solchen sphärischen Aberration können aber so gering sein, daß sie angesichts der Optimierung der Brennweite des Projektionsobjektivs vernachlässigbar oder aber durch andere Maßnahmen kompensierbar sind.

35



Figur 6 zeigt ausschnittsweise ein weiteres Ausführungsbeispiel einer insgesamt mit 210 bezeichneten Projektionsbelichtungsanlage in einer an die Figur 1 angelehnten Darstellung. Auch hier sind gegenüber Figur 1 veränderte  
05 Teile mit um 200 erhöhten Bezugsziffern versehen.

Figur 6 zeigt die Projektionsbelichtungsanlage 210 in einem Einstellmodus, bei dem der Träger 30 gegen eine Sensoreinrichtung 64 ausgetauscht ist. Bei der Sensoreinrichtung 64 kann es sich beispielsweise um einen  
10 an sich bekannten CCD-Sensor handeln. In dem Einstellmodus ist eine lichtempfindliche Oberfläche 66 der Sensoreinrichtung 64 in der Bildebene 28 des Projektionsobjektivs 20 angeordnet. Auf diese Weise wird von der  
15 Sensoreinrichtung 64 genau dasjenige Bild erfasst, dem während des normalen Projektionsmodus die zu belichtende lichtempfindliche Oberfläche 26 ausgesetzt ist. Die Projektion erfolgt dabei mit einem besonderen Testretikel 70, das anstelle des normalen Retikels 24 in der  
20 Objektebene 22 des Projektionsobjektivs 20 angeordnet ist.

Anstelle des CCD-Sensors kann auch in an sich bekannter Weise ein Interferometer als Sensoreinrichtung eingesetzt werden. Damit lassen sich Wellenfronten in Pupillenebenen  
25 erfassen. Im einzelnen ist dies in der oben bereits erwähnten WO 01/63233 A1 erläutert.

Im Unterschied zur Projektionsbelichtungsanlage 10 aus Figur 1 weist die Projektionsbelichtungsanlage 210 zusätzlich eine Recheneinheit 68 auf, die mit einem Temperaturregler 248 für die Temperiereinrichtung 44 verbunden ist.  
30 Im Einstellmodus funktioniert die Projektionsbelichtungsanlage 210 wie folgt:

35 Zunächst werden die auf dem Testretikel 70 enthaltenen

Strukturen von dem Projektionsobjektiv 20 auf der lichtempfindlichen Oberfläche 66 der Sensoreinrichtung 64 abgebildet. Dieses Abbild wird von der Sensoreinrichtung 64 erfasst und in digitaler Form der Recheneinheit 68 übermittlelt. Diese bestimmt aus den erhaltenen Daten eine Führungstemperatur, die an den Temperaturregler 248 weitergegeben wird. Der Temperaturregle 248 stellt nun sicher, daß die Immersionsflüssigkeit 38 auf diese neue Führungstemperatur gebracht wird. Die Sensoreinrichtung 64 erfasst das durch die Temperaturänderung veränderte Abbild der Strukturen des Testretikels 70 und führt auch diese Daten der Recheneinheit 68 zu. Mit Hilfe an sich bekannter Algorithmen stellt die Recheneinheit 68 fest, ob sich durch die Temperaturänderung eine Verbesserung oder Verschlechterung der Abbildungseigenschaften des Projektionsobjektivs 120 ergeben haben. In Abhängigkeit von diesem Ergebnis wird die Führungstemperatur erneut verändert. Dieser rekursive Vorgang wird so lange fortgesetzt, bis sich keine Verbesserung der Abbildungseigenschaften des Projektionsobjektivs durch eine Temperaturveränderung mehr erzielen läßt.

## Patentansprüche

=====

05

1. Verfahren zur Verbesserung einer optischen Abbildungseigenschaft eines Projektionsobjektivs (20; 120) das Teil einer mikrolithografischen Projektionsbelichtungs-  
anlage (10; 210) ist, mit der sich ein in einer Objektebene  
10 (22) des Projektionsobjektivs (20; 120) angeordnetes Retikel (24) durch das Projektionsobjektiv (20; 120) hindurch auf eine in einer Bildebene (28) des Projektionsobjektivs angeordnete lichtempfindliche Oberfläche (26; 66) abbilden  
15 läßt,

gekennzeichnet durch folgende Schritte:

- a) Einbringen einer Immersionsflüssigkeit (38) in einen  
20 Zwischenraum (40) zwischen der lichtempfindlichen Oberfläche (26; 66) und einer dieser Oberfläche (26; 66) zugewandten Endfläche (42) des Projektionsobjektivs (20; 120);
- 25 b) Ermitteln einer Abbildungseigenschaft des Projektionsobjektivs (20; 120)
- c) Vergleichen der ermittelten Abbildungseigenschaft mit einer Soll-Abbildungseigenschaft;  
30
- d) Verändern der Temperatur der Immersionsflüssigkeit (38) so lange, bis die ermittelte Abbildungseigenschaft der Soll-Abbildungseigenschaft möglichst nahe kommt.

35 2. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet,

daß die Abbildungseigenschaft ermittelt wird, indem ein Testretikel (70) durch das Projektionsobjektiv (20) und die Immersionsflüssigkeit (38) hindurch auf ein in der Bildebene (28) angeordnetes lichtempfindliches Element  
05 (64) abgebildet wird.

3. Verfahren nach Anspruch 2, dadurch gekennzeichnet, daß das lichtempfindliche Element eine Sensoreinrichtung (64), insbesondere ein CCD-Sensor, ist.

10

4. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß die Abbildungseigenschaft unter Verwendung eines Interferometers ermittelt wird.

15 5. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß die optische Abbildungseigenschaft die Größe einer durch das Projektionsobjektiv (20) verursachten sphärischen Aberration ist.

20 6. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 4, dadurch gekennzeichnet, daß die optische Abbildungseigenschaft die Brennweite des Projektionsobjektivs (120) ist.

7. Mikrolithografische Projektionsbelichtungsanlage zur  
25 Abbildung eines in einer Objektebene (22) eines Projektionsobjektivs (20) angeordneten Retikels (24) durch das Projektionsobjektiv (20) hindurch auf eine in einer Bildebene (28) des Projektionsobjektivs (20) angeordnete lichtempfindliche Oberfläche (26), mit Mitteln  
30 (32) zum Einbringen einer Immersionsflüssigkeit (38) in einen Zwischenraum (40) zwischen der lichtempfindlichen Oberfläche (26) und einer dieser Oberfläche (26) zugewandten Endfläche (42) des Projektionsobjektivs (20),

35 gekennzeichnet durch

eine in der Bildebene (28) anordenbare Sensoreinrichtung (64), insbesondere einen CCD-Sensor, eine Temperaturregelungseinrichtung (248) zur Einstellung einer Soll-Temperatur der Immersionsflüssigkeit (38), und einer mit der Sensoreinrichtung (64) und der Temperaturregelungseinrichtung (248) verbundenen Recheneinheit (68), mit der aus von der Sensoreinrichtung (64) erzeugten Signalen die Soll-Temperatur der Immersionsflüssigkeit (238) bestimmbar ist.

#### 8. Mikrolithografische Projektionsbelichtungsanlage

zur Abbildung eines in einer Objektebene (22) angeordneten Retikels (24) durch ein Projektionsobjektiv (20; 120) hindurch auf eine in einer Bildebene (28) angeordnete lichtempfindliche Oberfläche (26), mit einer in einen Zwischenraum (40) zwischen der lichtempfindlichen Oberfläche (26; 126) und einer dieser Oberfläche (26) zugewandten Endfläche (42) des Projektionsobjektivs (20; 120) eingebrachten Immersionsflüssigkeit (38),

dadurch gekennzeichnet,

daß die Temperatur der Immersionsflüssigkeit (38) so gewählt ist, daß durch die Immersionsflüssigkeit (38) eine dem Projektionsobjektiv (20; 120) eigene sphärische Aberration kompensiert ist.

1/4

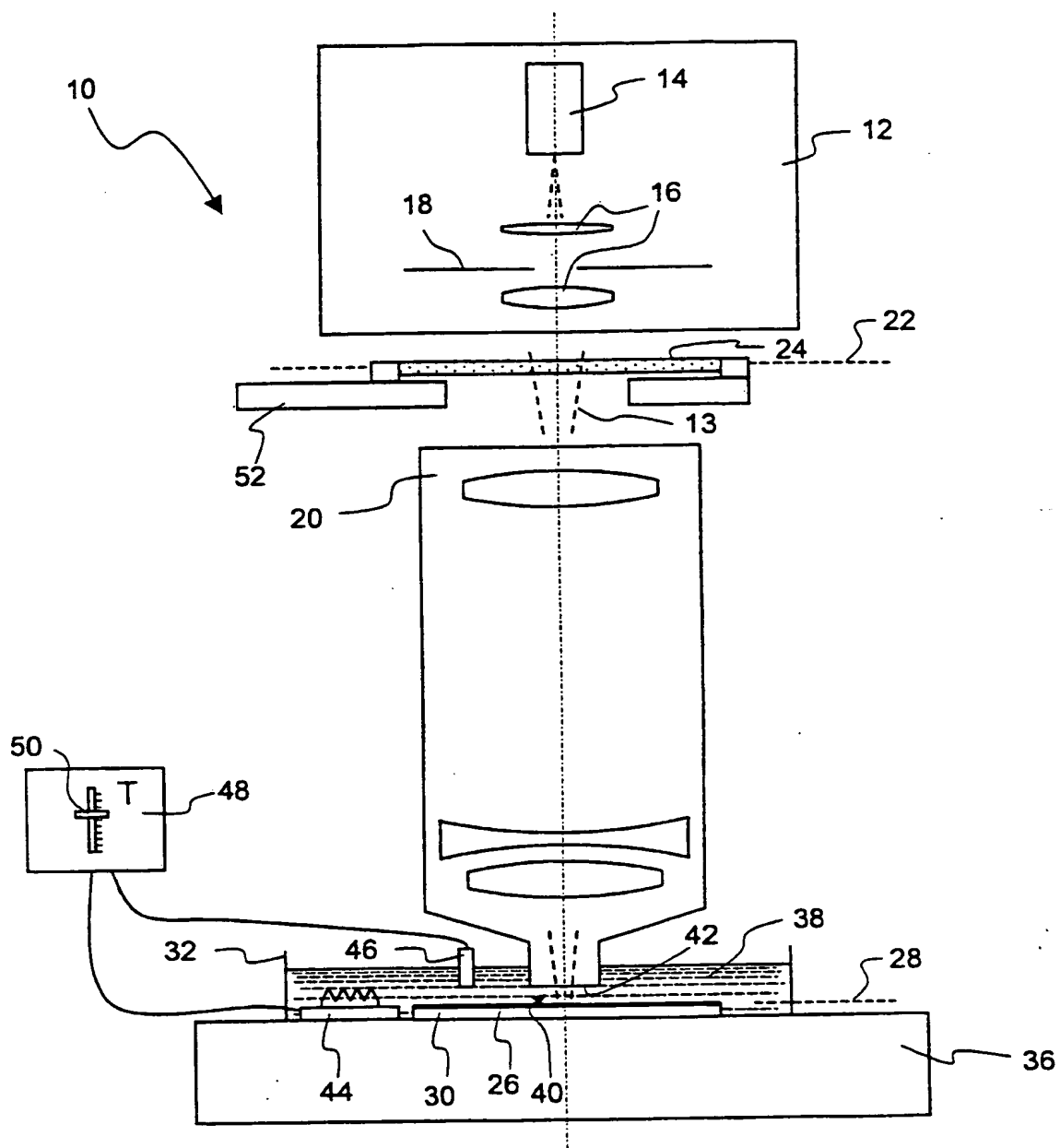


Fig. 1

2/4

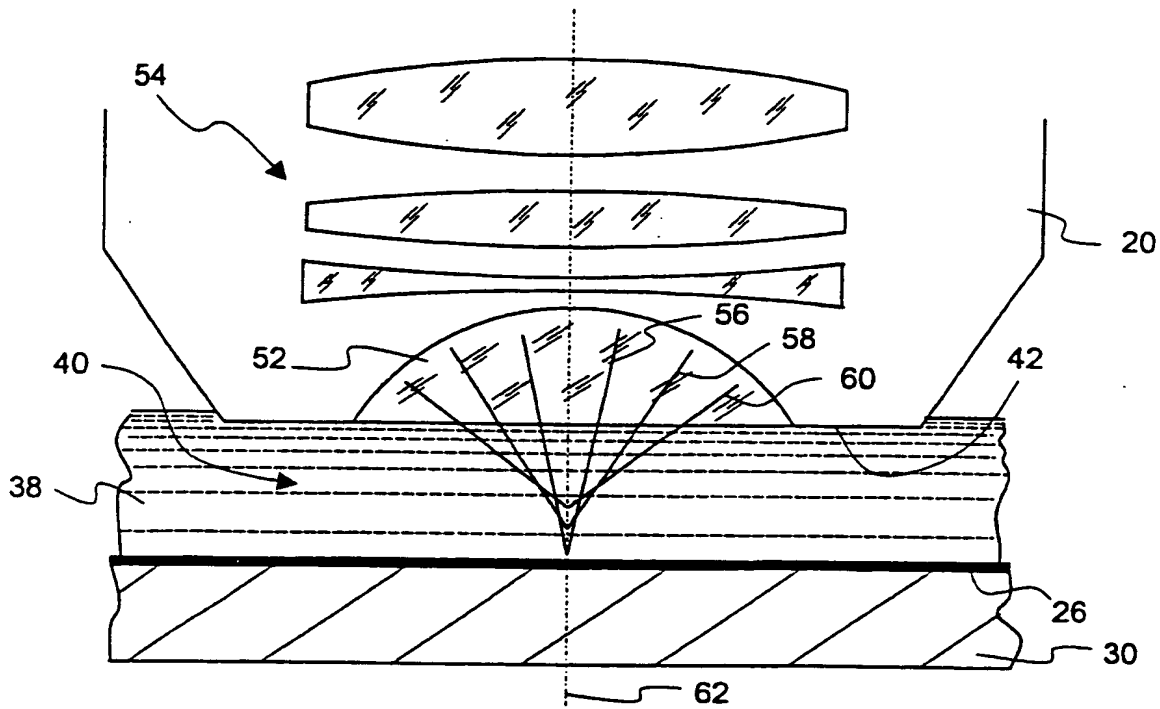


Fig. 2

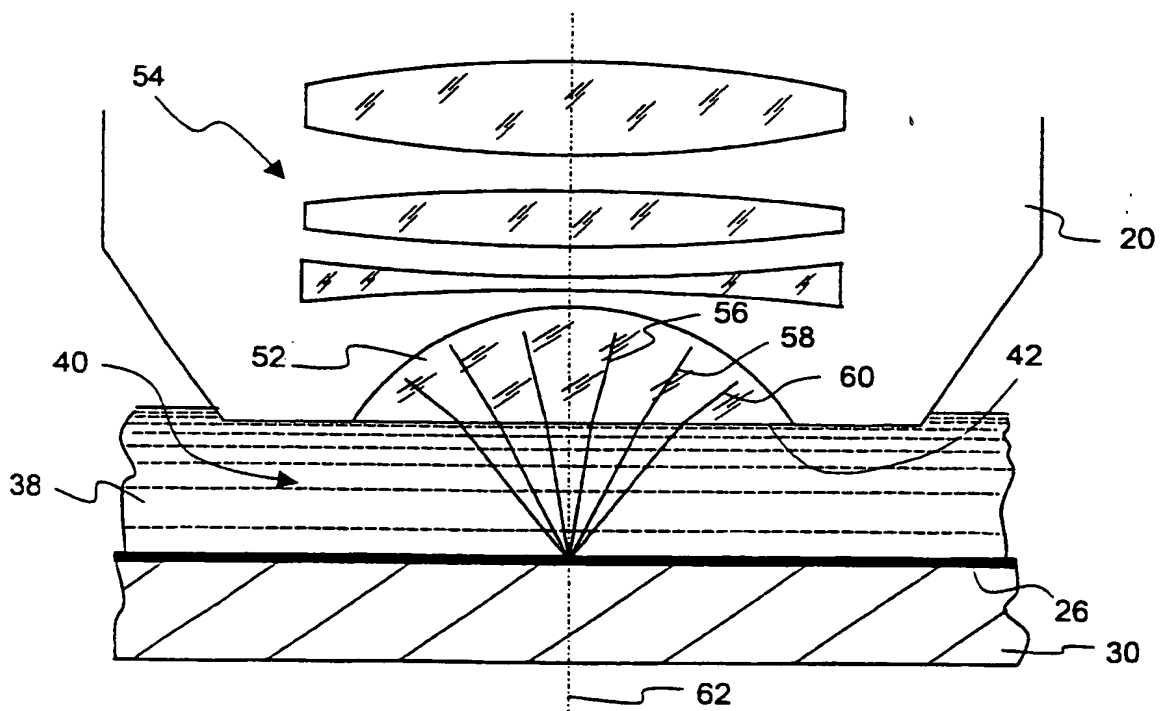


Fig. 3

3/4

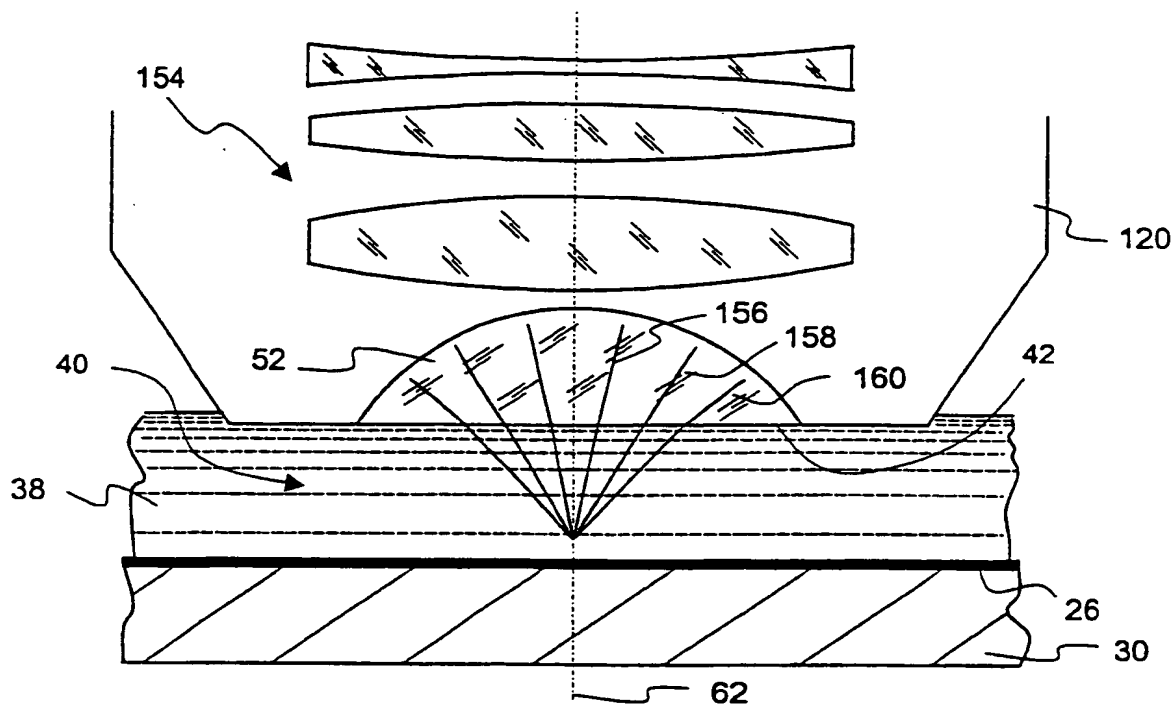


Fig. 4

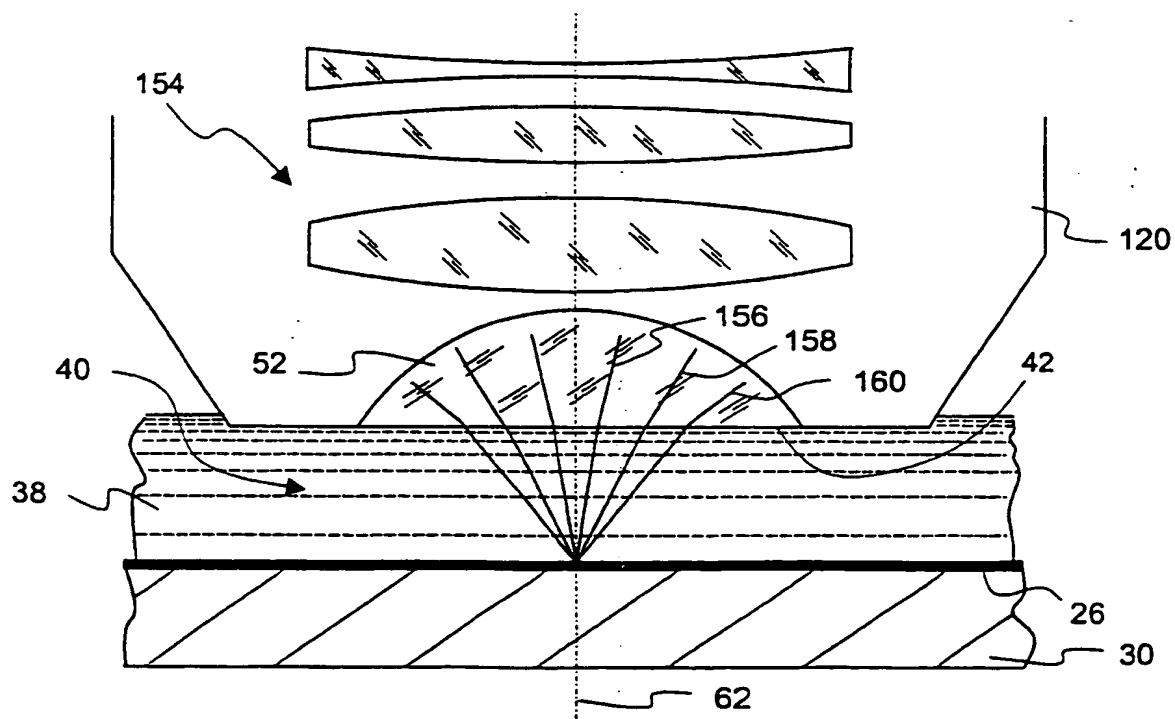


Fig. 5



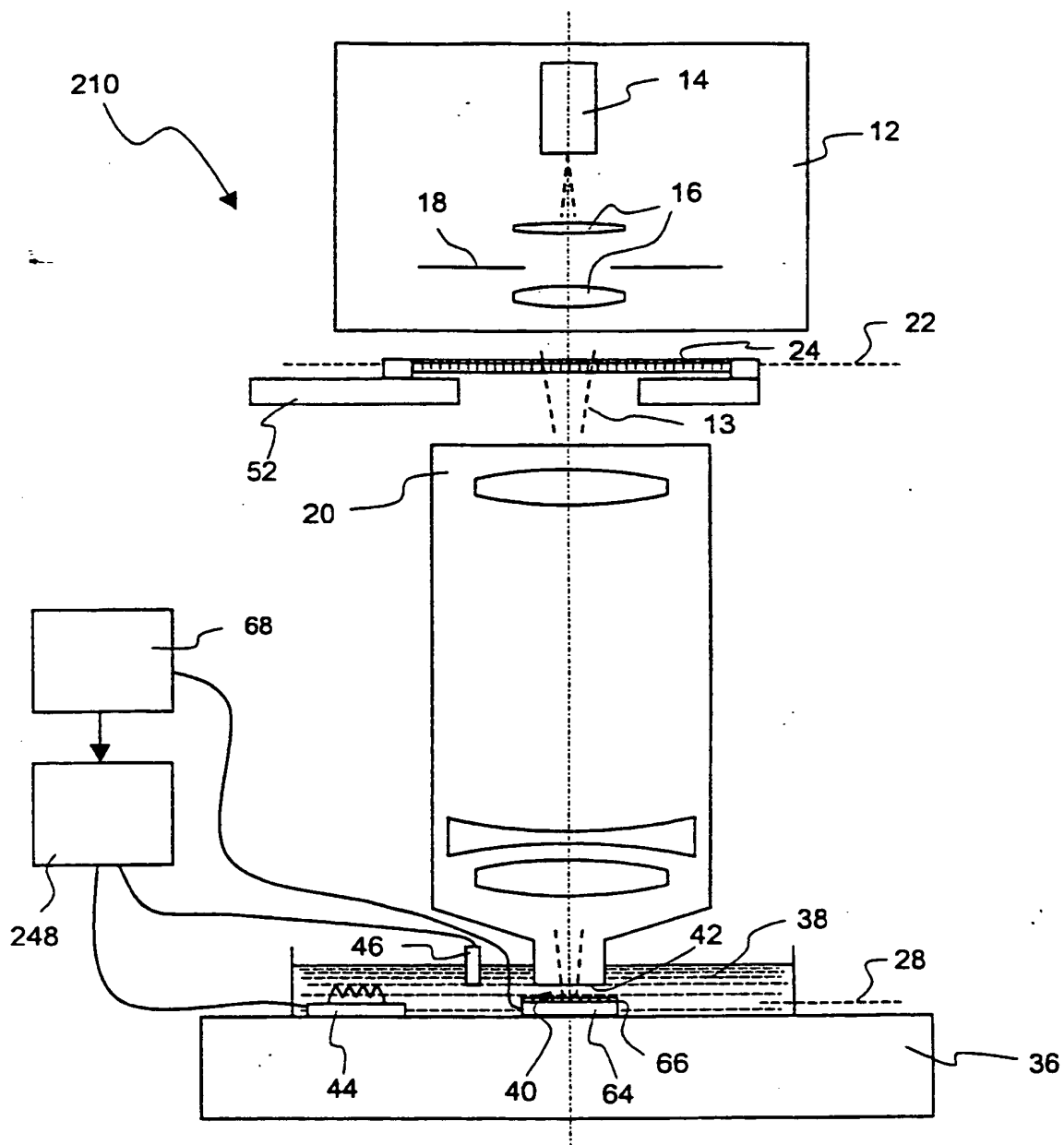


Fig. 6